

Transformaciones estructurales de las fibras para conferirles nuevas propiedades

(Continuación y final)

Dr. ANDRÉ PARISOT
Director del Laboratorio Químico
del Instituto Textil de Francia

IV. — MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA QUIMICA CON RELACION A LAS PROPIEDADES NO MECANICAS DE LAS FIBRAS.

Hasta ahora, nos hemos referido unicamente a las relaciones de estructura que guardan relación con las propiedades mecánicas de las fibras y de los tejidos: resistencia mecánica, deformación y recuperación de forma de las fibras y de los tejidos.

Por otra parte, hemos de tener en cuenta que existen otras propiedades de las fibras que tienen importancia para qué un artículo dado, hilo, tejido o tricot, cumpla plenamente con la misión a la que está destinado. Algunas de estas propiedades están en relación directa con la estructura química propiamente dicha, es decir con la composición atómica y la agrupación de sus átomos en las macromoléculas. Entre estas propiedades podemos citar las propiedades tintoriales, la reprise de humedad y las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas, la resistencia a la combustión, la solubilidad, etc.

Otras propiedades son principalmente resultado de la estructura química y geométrica de la superficie de las fibras, tales como las que se refieren al frotamiento entre las fibras, la fijación de la suciedad —o lo que es parecido a la electrización— o, al menos, ciertas causas de esta propiedad.

A veces es difícil separar, para una propiedad determinada, la influencia de la estructura química de la supraestructura, estructura fibrilar o histológica. Por otra parte, en el caso de ciertas fibras, la composición química no es homogénea; en la lana existe una mezcla de proteínas que difieren no solamente en su composición química, sino también en su estructura macromolecular, y que da lugar a los diferentes elementos de su histología en el caso del lino, la celulosa sólo supone alrededor del 65 % de la masa de la fibra.

4.1. — *Modificación de las propiedades tintóreas.*

No pretendo dar un curso de tintura de los diferentes tipos de fibras, sino solamente establecer los principios.

A parte del principio de accesibilidad de la estructura a las moléculas o agregados moleculares de los colorantes —que, en el caso de las fibras sintéticas, viene regulada por los efectos transportadores, o lo que es lo mismo por las modificaciones transitorias de la arquitectura fibrilar— lo que regula el valor de un sistema colorante/fibra es la existencia de funciones químicas dotadas de afinidad y que forman parte de la estructura de la fibra y del colorante, respectivamente.

Así, pues, se podrá modificar la afinidad tintorial de una fibra respecta a una familia de colorantes, haciendo aparecer, por reacción química, las funciones necesarias.

Esto está siendo ampliamente explotado en el campo de las fibras sintéticas. Citemos, a título de ejemplo, el tratamiento de las fibras acrílicas con reactivos que transforman una parte de las funciones nitrilo en otras funciones cromófilas; este es el caso del sulfato de hidroxilamina, que da lugar, como hemos podido constatar por cromatografía infra-roja, a funciones oxima: —CH=N—OH susceptibles de fijar colorantes ácidos por electrovalencia, y ciertos colorantes sustantivos por interacciones hidrógeno.

Sin embargo, tal principio implica un inconveniente importante. Las funciones químicas transformadas ejercen, generalmente, una misión en la cohesión intermacromolecular y su reemplazamiento por otras funciones puede suponer una pérdida a veces notable de la resistencia mecánica. Por ello se deben investigar procesos de tratamiento que actúen solamente en las partes de la estructura que tienen poca influencia sobre la resistencia general de las fibras.

El principio descrito es aplicable sobre todo en el caso de fibras cuya composición química es tal que ciertas familias de colorantes no tienen afinidad por ellas. En el caso de la lana, y a causa de su carácter anfótero, no se presenta este problema sino que más bien se trata de modificar la velocidad de subida de estos colorantes; esta es la misión que cumplen algunos tratamientos antifieltrantes tales como el clorado o la efluación.

En el caso de las fibras sintéticas, se prefiere más bien actuar antes de la formación de la fibra estudiando en consecuencia la estructura química del polímero. También, en el caso de las fibras de celulosa regenerada, se introducen en el colodión de viscosa moléculas apropiadas (con funciones aminas, por ejemplo) o también, como en el caso de los acetatos, colorantes pigmentarios.

Pero, en el caso de las fibras celulósicas naturales, y también en las de celulosa regenerada, se dispone de una gran variedad de tratamientos químicos para permitir la tintura directa de las fibras con colorantes ácidos o básicos.

En resumen, se han puesto en marcha varios sistemas reaccionales:

a) Tintura con moléculas coloradas que reaccionan con la celulosa.

Este es el caso de los colorantes reactivos, siendo los más conocidos los derivados del cloruro de cianurilo de los que ya hemos hablado. Pueden ser mono o bi-activos según se hayan sustituido dos o un átomo de cloro por grupos cromóforos.

Estos colorantes reactivos están basados en que en la estructura del grupo cromóforo existen funciones tales como $\text{—SO}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{Cl}$ o $\text{SO}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{SO}_2\text{H}$ que, en medio alcalino, dan lugar a la formación de una función vinilsulfona: $\text{—SO}_2\text{—CH=CH}_2$ capaz de reaccionar con las funciones alcohol de la celulosa.

Se puede considerar que las fibras coloreadas resultantes de esta reacción son nuevas fibras conseguidas por modificación de la estructura química de las fibras existentes.

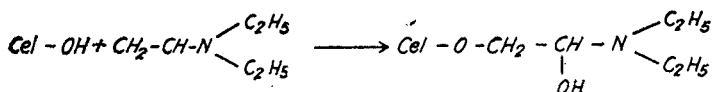
b) Ramificación de una molécula que contiene la función deseada, gracias al hidrógeno móvil de una función alcohol:

En este caso, el fundamento es el mismo que el de las reacciones de puenteo, con la única diferencia de que en lugar de partir de moléculas bifuncionales se hace uso de moléculas monofuncionales.

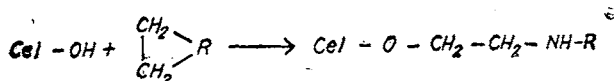
Se han propuesto las reacciones siguientes:

1.º) Acción de los epóxidos:

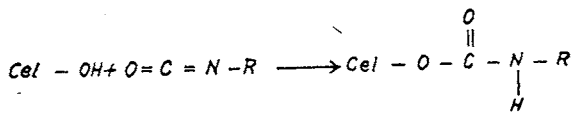
La dietilaminaepoxietano introduce funciones amina terciaria que fijan los colorantes ácidos:



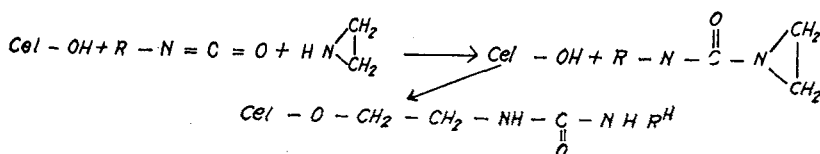
2.º) Acción de las etileniminas:



3.º) Acción de los monoisocianatos:

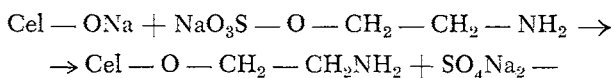


También es posible hacer reaccionar simultáneamente el monoisocianato y la etilenimina, dando una monoetilenurea:



4.º) Acción del ácido β -aminoetilsulfúrico:

La reacción se efectúa en presencia de NaOH al 25 %. La fibra está sometida al mismo tiempo a una mercerización:



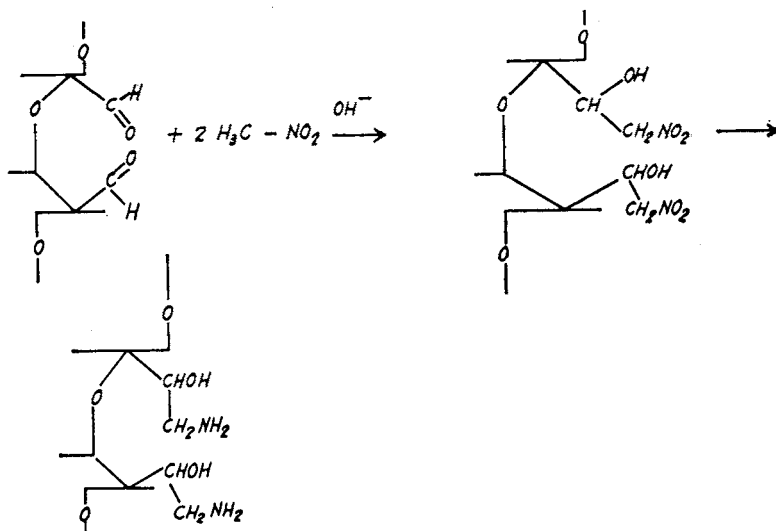
Algunas de estas reacciones han podido ser aplicadas a las fibras de celulosa regenerada y han conducido a fibras amina de marcas tales como: CISALFA, FLBRAMINE, RAILAN, CUPRALAN.

c) Transformación de la estructura de la celulosa, seguido de una reacción química con las nuevas funciones formadas:

Reactivos tales como el ácido periódico, el peróxido de nitrógeno, el hipoclorito, el clorito sódico atacan los anillos de glucosa de la cadena celulósica transformando una parte de las funciones alcohol (primario o secundario) en otras funciones: aldehído, cetona, ácido, sobre las cuales es posible hacer reaccionar, a continuación, diversas moléculas que poseen funciones propias capaces de fijar los colorantes.

Han sido experimentadas bastantes reacciones de este tipo, pero casi siempre la reacción de oxidación degrada muy fuertemente la celulosa con pérdida de la resistencia mecánica. Una reacción que es relativamente buena ha sido puesta a punto por el Centro de Recherches de la Soierie et des Industries Textiles de LYON:

consiste en hacer reaccionar el nitrometano $\text{H}_3\text{C}-\text{NO}_2$ en solución alcohólica con la oxixelulosa de tipo aldehídico, en medio alcalino débil; a continuación se reduce el derivado nitrado obtenido con una solución acuosa de borohidruro potásico con lo que se forman funciones aminas:



Es importante tener en cuenta que la transformación de las funciones aldehído en funciones aminoalcohol anula la sensibilización de la oxixelulosa frente a los álcalis e inhibe la pérdida de resistencia mecánica que resulta de la despolimerización por escisión de las cadenas a la altura del carbono vecino a la función aldehído.

d) Injertación de la celulosa:

Los procedimientos de injertación (no polimerizante) que veremos en la última parte, permiten teóricamente transformar la estructura química de la celulosa soldando moléculas cromófilas.

4.2. — Modificación de las propiedades relacionadas con la fijación de agua.

La fijación del agua de la atmósfera, conocida con el nombre de "reprise" (de humedad) es un fenómeno del que dependen bastantes propiedades de las fibras y de los artículos textiles.

Es bien conocido que las propiedades mecánicas están fuertemente influenciadas por el contenido de agua de las fibras y por su hidrofilidad superficial más o menos grande. El agua ejerce una misión plastificante en las zonas cristalinas y entre las fibrillas, modificando la intensidad de las fuerzas de cohesión (por ejemplo las que dependen de las interacciones tipo hidrógeno). Superficialmente modifica el coeficiente de fricción de las fibras. Finalmente, los intercambios de agua con la atmósfera hacen intervenir la energía térmica, la cual juega un importante papel en la noción de "confort" de los tejidos.

El agua, en estado de vapor, se fija en la estructura química mediante funciones capaces de establecer interacciones hidrógeno. Así pues, para que exista fijación de agua, es preciso que: 1.º) existan estas funciones, 2.º) que las moléculas de agua puedan alcanzar estas funciones.

Por tanto, modificando su estructura y creando funciones nuevas, sería posible aumentar la hidrofiliidad de las fibras, principalmente las sintéticas. Aunque todavía no se ha llegado a ninguna realización industrial de este tipo, ya que las tentativas están más bien encaminadas a modificar la estructura química del polímero antes de la formación de la fibra, es de suponer que las nuevas reacciones de injertación pronto permitirán este tipo de realizaciones.

Por el contrario, es posible lograr la operación inversa, es decir, disminuir la hidrofiliidad demasiado grande de algunas fibras naturales o artificiales bloqueando o suprimiendo una parte de las funciones hidrofílicas.

Respecto a esto, la fabricación de las fibras de poliacetales encaja bien en el tema de este cursillo. Estas fibras derivan de las fibras de alcohol polivinílico, las cuales tienen una solubilidad en agua demasiado grande para que puedan encontrar aplicación. La acetalización con monoaldehídos (formaldehído, acetaldehído, etcétera) o dialdehídos (glioxal) de una parte de las funciones alcohólicas vuelven las fibras hidrófobas e insolubles.

Desde otro punto de vista, las reacciones de cianoetilación, acetilación parcial, etcétera, del algodón o del lino, conducen a un mismo resultado (disminución de la reprise), pero estas reacciones son más bien aplicadas para conferir a las fibras otras propiedades como la resistencia al calor o al ataque por los microorganismos.

4.2.2. — Hidrofugación.

Primeramente convendrá distinguir tres términos que corresponden a tres propiedades diferentes de los tejidos:

a) Un tejido *hidrófobo* es un tejido incapaz de fijar agua de la atmósfera, por lo que presenta una reprise débil o nula. Tal tejido puede eventualmente ser mojado por el agua o retener cierta cantidad de la misma en los espacios interfibras. También puede ser atravesado por el agua.

b) Un tejido *hidrófugo* es un tejido cuyas fibras no pueden ser mojadas por el agua. No obstante, este tejido no debe ser necesariamente hidrófobo y sus fibras pueden presentar cierta reprise. Igualmente, si su contextura es particularmente suelta, es decir, si sus espacios interfibras son suficientemente grandes, puede ser atravesado por el agua líquida si ésta dispone de una energía cinética suficiente.

c) Un tejido *impermeable* es un tejido que no se deja atravesar por el agua en forma líquida, fundamentalmente porque sus espacios interfibras son muy pequeños. No es necesario que las fibras sean hidrófobas e/o hidrófugas para que el tejido sea impermeable, pero generalmente estas propiedades favorecen el fenómeno.

Así, pues, hidrofugar un tejido consiste en disminuir la humectabilidad de sus fibras constitutivas sin entorpecer su hidrofiliidad. Para conseguirlo existen dos soluciones: recubrir la superficie de las fibras con una sustancia hidrófoba, como en los procedimientos a base de siliconas (lo cual se sale del tema); o transformar la estructura química de la superficie de las fibras para hacer aparecer funciones hidrófobas.

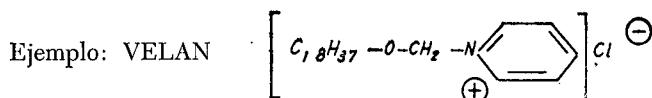
Para ello, conviene disponer de funciones químicas transformables en la superficie de las fibras. En el caso de las fibras celulósicas, estas funciones serán las alcohólicas y en el caso de la lana, de las poliamidas, serán las funciones $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{CONH}-$. Resumiendo, todas las funciones que contienen un hidrógeno móvil (lo que supone hidrofiliidad "natural") podrán ser aprovechadas mediante reacción con moléculas adecuadas.

Estas moléculas están formadas por una parte hidrófoba, constituida generalmente por una cadena hidrocarbonada, eventualmente sustituida por átomos de

halógenos para comunicar al mismo tiempo cierta oleofobia a la molécula, y por una parte reactiva de la que ya hemos visto cierto número.

Principalmente se ha hecho uso de las siguientes reacciones o sustancias:

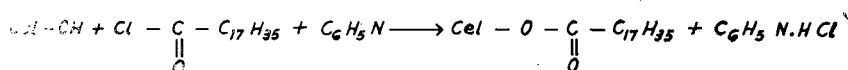
- 1.º) Reacción de los isocianatos de la serie grasa: $R-N=C=O$
- 2.º) Derivados cuaternarios de piridinio:



Se impregna el tejido en una solución acuosa del producto y acetato sódico. Mediante calentamiento a $90^{\circ}/130^{\circ}\text{C.}$, la sal de piridinio se descompone y el radical $S_{18}H_{37}-O-CH_2-$ se fija en los $-OH$ de la celulosa.

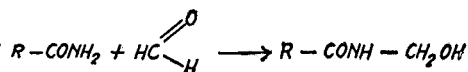
Estos tratamientos son semejantes a los procedimientos en que se hace uso separado de los productos que dan lugar a la formación del compuesto de amonio cuaternario. Por ejemplo, se puede tratar el tejido con un clorometil-éter de cadena grasa en presencia de piridina.

O también haciendo reaccionar simultáneamente un cloruro de ácido graso y la piridina.

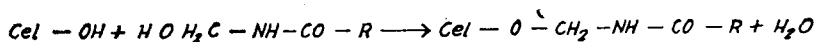


- 3.º) Acción de las metilolamidas de la serie grasa:

La acción del formaldehído sobre una amida da lugar a un derivado metilol:

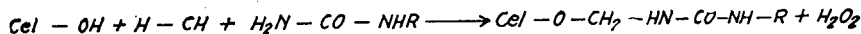


que reacciona con la celulosa en medio alcalino:



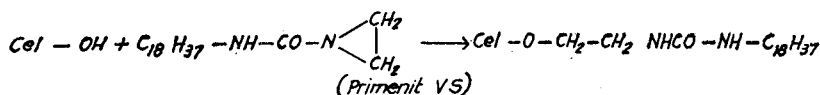
- 4.º) Derivados sustituidos de la urea:

Es posible sustituir un átomo de hidrógeno de la urea por un radical graso. El derivado sustituido reacciona con la celulosa en presencia de formaldehído (que da transitoriamente un derivado monometilol):



Este es el caso de los procedimientos (Phobotex FT, Hydrophobol S 1200, etc...).

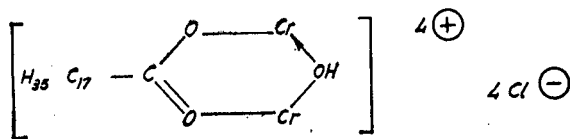
La acción del formaldehído puede ser evitada preparando un reactivo derivado de la etilenurea sustituida:



5.º) Derivados complejos órgano-metálicos:

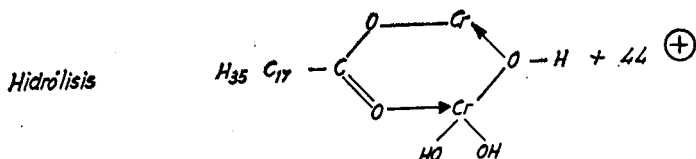
Aparte de los derivados de las siliconas respecto a las cuales debemos tener en cuenta que no es cierto que reaccionan con la celulosa, existe una gama de productos que poseen interesantes propiedades hidrofugantes y cuya fórmula es el resultado de la formación de un complejo entre el cloruro de cromo y un ácido graso.

El estearcloruro de cromo, inventado por la sociedad DU PONT (U. S. Pat. 2.273 040) tiene como fórmula:

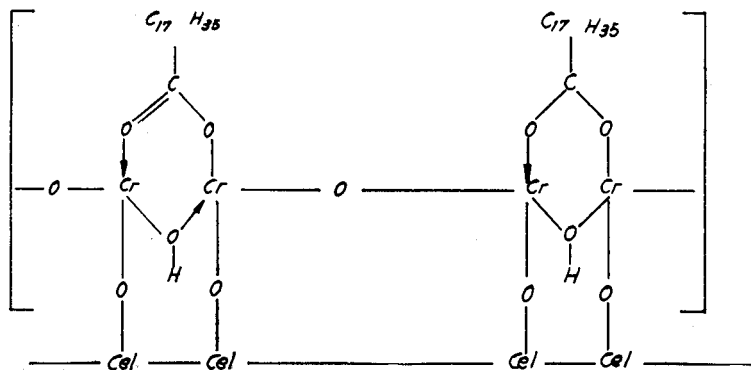


Este compuesto se prepara por acción del ácido esteárico sobre un cloruro básico de cromo en presencia de un disolvente anhidro.

El complejo se hidroliza, ya sea en solución acuosa a pH elevado, ya sea mediante débil calentamiento, pasando a un complejo básico:



El tejido se impregna, en medio alcalino, en el complejo estearocrómico, lo que provoca su hidrólisis previa en un complejo básico. Mediante calentamiento posterior, se produce una deshidratación parcial que provoca la fijación sobre los —OH de la celulosa y la polimerización del complejo:



El textil así tratado pasa a ser hidrófugo de modo permanente. El mayor inconveniente reside en que el tejido tratado adquiere una coloración-verde (*).

(*) Se ha intentado eliminar esta coloración investigando otros complejos de fórmula y comportamiento análogos partiendo de otros metales. No obstante, parece ser que el cromo es el único que goza de esta propiedad.

NOTA: Frecuentemente sucede que cuando se comprueba la permanencia del efecto hidrófugo conferido a los tejidos mediante un lavado en las condiciones habituales del blanqueo, al medir después del lavado el poder hidrófugo con ayuda de un aparato que permite determinar la permeabilidad del agua, el resultado es frecuentemente desastroso, pues el tejido *parece* haber perdido totalmente sus propiedades hidrófugas. Es preciso señalar que ello es debido a una absorción por parte del tejido del agente tensioactivo empleando en el lavado. Ello se ha podido comprobar fácilmente eliminando el agente tensioactivo residual mediante un disolvente orgánico. El tejido presenta, después de un desgrasado "en seco", sus cualidades hidrófugas iniciales.

En consecuencia, si los artículos hidrofugados con un agente permanente deben ser limpiados a lo largo de su uso, es recomendable proceder a un lavado en seco, después del blanqueo. Debe tenerse en cuenta que ésto no es aplicable si el agente hidrófugo pertenece al grupo de los no permanentes (sales metálicas de los ácidos grasos y parafinas cloradas) ya que el agente hidrofugante sería eliminado en el lavado en seco.

6.º) Derivados fluorados:

Recientemente han merecido una atención muy grande los agentes de hidrofugación a base de derivados fluorados. Entre los agentes capaces de fijarse permanentemente sobre la celulosa, es interesante mencionar el tratamiento con el cloruro de perfluorobutirilo o el cloruro de perfluorobutirilo o el cloruro de perfluorooctanoilo, en solución de dimetilformamida. De esta forma se obtienen los ésteres de la celulosa. La combinación de este tratamiento con otro a base de los derivados de la estearamida aumenta la calidad de los resultados obtenidos.

Los derivados fluorados presentan la particularidad de que mejoran a la vez el comportamiento hidrófugo de los tejidos y el comportamiento respecto a los cuerpos grasos, los cuales no pueden ser fijados por el tejido (oleofugación).

4.3. — *Aprestos anti-suciedad.*

Un problema importante del comportamiento al uso de los artículos textiles es su resistencia al ensuciamiento.

Es preciso entender como ensuciamiento, tanto la fijación del fino polvo atmosférico o de las grasas de la piel (para artículos tales como camisas o ropa interior), como la fijación local de manchas.

En estos fenómenos intervienen muchos factores. En un artículo de E. P. FRIESER (S. V. F. (6 junio 1961) 382) se puede encontrar un estudio detallado. Entre los factores que intervienen se pueden citar: la estructura superficial de la fibra, su capacidad de hinchamiento en el agua, sus propiedades de auto-electricización, de absorción o de adsorción de las grasas. En el caso de los tejidos intervienen también la finura de las fibras y la contextura.

La acción de los productos o de los tratamientos de apresto anti-suciedad está basada en la disminución de las cargas de autoelectricización, en una modificación de la superficie de las fibras (una superficie lisa tiene menos tendencia a ensuciarse), en un débil hinchamiento de la fibra en medio acuoso y en la cualidad hidrófuga y oleófuga de la superficie.

La mayor parte de los tratamientos aplicados no responden al tema de esta exposición ya que principalmente consisten en depositar materias adicionales sobre las fibras —y no una modificación de la estructura de éstas— por ejemplo, óxidos metálicos, junto a resinas acrílicas, que rellenan las asperezas de las fibras.

Sin embargo; cierto número de los tratamientos hidro y oleófugos citados an-

teriormente, combinados con tratamientos “anti-estáticos” confieren también propiedades de anti-suciedad a los tejidos con ellos tratados.

4.4. — *Resistencia a los agentes biológicos.*

Una de las graves causas de deterioro de los artículos a lo largo de su uso es el ataque por múltiples agentes biológicos o zoológicos. Teniendo en cuenta que una de las mayores ventajas de las fibras sintéticas es la de resistir a estos agentes, se han hecho grandes esfuerzos para conferir tal resistencia a los artículos de fibras naturales. Ell se ha conseguido incorporando a los tejidos productos adecuados, pero ésta es la peor solución, ya que estos productos son susceptibles de desaparecer a lo largo del uso o de la limpieza de los artículos. La naftalina o el paradiclorobeneno, si bien son eficaces, desaparecen por sublimación.

Así, pues, se ha pensado en modificar parcialmente la estructura química de las fibras para hacerlas nocivas o simplemente indigeribles.

4.4.1. — *Protección de las fibras celulósicas.*

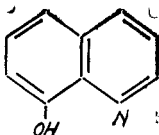
Es de general conocimiento que los tratamientos de acetilación parcial del algodón, de cianocetilación, o de fijación de otros derivados venílicos nitrogenados confieren una resistencia respecto a los microorganismos celulolíticos.

Trataremos de ello al hablar del aumento de resistencia térmica de los tejidos.

Entre los otros procedimientos de protección, una simple modificación del artículo cristalino, obtenida por acción de soluciones concentradas de sosa, ya proporcionan un resultado apreciable.

Esta acción puede ser completada fijando moléculas nocivas sobre la celulosa. Por ejemplo, nosotros hemos encontrado que tratando una alcalicelulosa con pentaclorofenol, una parte de la molécula se fijaba por sustitución de uno o varios átomos de cloro, mientras que los otros átomos de cloro eran reemplazados por funciones fenol. El polifenol así fijado tiene un elevado poder anti-fungico.

Por otra parte, la mayoría de los tratamientos con resinas (principalmente con resinas metoximetilol-melaminas) confieren a los tejidos propiedades antibacterianas. Este efecto puede ser aumentado adicionando al baño productos antisépticos como, por ejemplo, la 8 hidroxiquinoleína:



Los progresos más recientes en el campo de la protección contra los microorganismos consisten en tratar los tejidos con la neomicina, que respecto a las fibras se comporta como un colorante sustantivo y se aplica por un procedimiento análogo al de tintura.

4.4.2. — *Protección de la lana.*

En este caso, los daños más graves son principalmente consecuencia de la agresividad de los insectos, principalmente la polilla.

Los procedimientos de protección son bien conocidos así como los productos utilizados. La mayor parte de ellos son sustancias adicionales, como la naftalina

y el paradiclorobenceno entre los antiguos y el DDT y el dieldrin entre los más recientes. En realidad, no se trata de modificaciones de las fibras.

No sucede lo mismo con otros procedimientos en los que mediante un proceso semejante al de tintura, se fijan sobre la fibra moléculas que son venenosas para los insectos: Eulan nuevo; Eulan NK; Mitin FF.

4.5. — *Modificaciones de la estructura química relacionadas con el comportamiento térmico de los tejidos.*

El comportamiento térmico de las fibras cuando se las somete a la acción del calor varía según su composición química y su estructura fibrilar. También presenta aspectos muy variados, según la naturaleza del efecto térmico. Hemos estudiado la influencia de una aportación de energía calorífica limitada sobre la estructura macromolecular y fibrilar y hemos observado que este efecto podía ser aprovechado para transformar la estructura de las fibras y conferirles ciertas propiedades nuevas.

En estos efectos térmicos suaves, la estructura química de la fibra permanece inalterada, siendo ello una condición esencial para que puedan ser aplicados los tratamientos correspondientes (como la texturación de los hilos, por ejemplo).

Por el contrario, si bien los efectos térmicos suaves pueden ser aprovechados para ennoblecer ciertas fibras, en casos pueden presentar graves inconvenientes, si se quieren conservar inalteradas las propiedades mecánicas de las fibras.

Así, pues, es importante prever, en estos casos, ciertos efectos nocivos debidos a la aportación de calor, y conviene distinguir diferentes aspectos de estos fenómenos.

Nosotros estudiaremos los efectos suaves del calor sin que ocasionen una variación de la estructura química (con variación de las propiedades mecánicas; los efectos más enérgicos que se traducen muy a menudo en una destrucción total o parcial de la estructura química (combustión); y finalmente, los efectos particulares en los que se desea una modificación de la estructura química, en condiciones tales que no se produce la combustión, para obtener nuevas materias textiles.

4.5.1. — *Prevención contra las variaciones de las propiedades mecánicas por elevación (moderada) de la temperatura.*

Tales fenómenos tienen principalmente importancia en el caso de las fibras sintéticas, en las que las fuerzas de cohesión de los retículos cristalinos son esencialmente del tipo VAN DER WAALS (aumentadas por la acción de fuerzas que actúan topoquímicamente, como las integraciones hidrógeno o dipolares).

Por elevación de la temperatura, la agitación térmica modifica grandemente la forma de las nubes electrónicas de las macromoléculas y los dipolos instantáneos que engendran las fuerzas de VAN DER WAALS no pueden presentarse. Los movimientos microbrownianos en los segmentos moleculares situados entre los puntos de interacción más intensa, por ejemplo, entre las funciones ligadas por interacciones hidrógeno en las poliamidas o la fuerza de resonancia en los poliésteres con ciclos aromáticos, son más intensas.

El resultado de ello es que, por efecto de una elevación de la temperatura, las fuerzas de cohesión que actúan en las zonas cristalinas, quedan debilitadas y que estas zonas son más deformables si son solicitadas mecánicamente. La sustancia se plastifica, lo que se traduce en la curva carga/alargamiento, en una disminución del módulo de elasticidad inicial y de la carga de rotura, mientras que el alargamiento a la rotura no aumenta correlativamente. Así, pues, hay disminución de la energía de rotura, y las propiedades mecánicas pueden quedar disminuidas.

En el caso de las fibras sintéticas, este inconveniente queda mitigado imponiendo a los artículos textiles un choque térmico superior a los que serán susceptibles de producirse a lo largo de su utilización. Sería igualmente deseable modificar la estructura de las fibras para acercarla eventualmente a la de las fibras naturales, por ejemplo intentar realizar reacciones de puenteo difusas y limitadas para transformar el retículo monodimensional de las macromoléculas en un retículo amplio bi o tridimensional. Desde este punto de vista, (*) si bien todavía no existe ninguna realización industrial textil, se sabe provocan tales modificaciones de la estructura en el campo de los plásticos, y es de suponer que estos procedimientos podrán, eventualmente, ser aplicados en el campo de las materias fibrosas.

Por ejemplo, en el caso del polietileno se ha conseguido un mejor comportamiento al calor por irradiación de los artículos con ayuda de una bomba de cobalto. Se forman, por eliminación de protones H^+ , radicales libres que se saturan mutuamente entre cadena y cadena, consiguiéndose así una auto-injertación. Calculando cuidadosamente la cantidad de energía necesaria, este efecto puede quedar limitado a la superficie de los polímeros lo que corresponde a una especie de "cementación". El artículo así tratado, resiste temperaturas insitadas.

Se han efectuado ensayos para mejorar la estabilidad térmica del Nylon, por ejemplo, recubriendo las fibras con un polímero de acrilonitrilo injertado en la superficie. Después de la iniciación con radiaciones ultravioleta o con una sal de cerio, el tejido se trata con vapores de acrilonitrilo.

4.5.2. — *Prevención contra la inflamación y la combustión.*

Cuando la temperatura alcanza valores más elevados que los que puede soportar para que sólo se presenten transformaciones del estado físico, como contracciones o fusión, la agitación térmica resultante provoca diferentes fenómenos, que van de la simple hidrólisis de polimerizante (pirólisis) a la combustión viva (en presencia de aire).

La combustión viva puede producirse con llama (inflamación) o sin llama (ignición) según que el calor de combustión lleve a la incandescencia vapores, gases o partículas de carbono liberadas por destilación o contenido en los gases de combustión, o por el contrario, las materias sólidas que forman el esqueleto de las fibras.

En todos estos fenómenos intervienen tres factores físicos: la temperatura a la que son llevadas las fibras, el tiempo durante el cual se mantiene esta temperatura, y finalmente la accesibilidad del aire a la sustancia que se encuentra a una temperatura elevada.

El "comportamiento al fuego" de las diversas fibras textiles depende evidentemente de su estructura química. Las fibras minerales (amianto, fibras de vidrio) son intrínsecamente incombustibles. Todas las demás, al menos las que contienen carbono en su estructura pueden quemar si son mantenidas en una llama. Pero entre estas últimas algunas no pueden mantener su propia combustión cuando se interrumpe su contacto con una llama o un punto caliente. Para que la propagación de la llama sea posible, o incluso para que la combustión sin llama pueda continuar, es preciso que la estructura química contenga elementos fácilmente combustibles, tales como el carbono y el hidrógeno, y un elemento comburente como el oxígeno. La presencia de elementos anti-comburentes, como el nitrógeno y los halógenos, impide la propagación de la combustión.

(*) Ya que los esfuerzos se han efectuado más bien en el sentido de fabricar polímeros de tales características, y después producir las fibras.

También intervienen otros factores que dan lugar a fenómenos secundarios de la combustión, y que implican peligros particulares. Las fibras que se funden con facilidad, como las poliamidas y los poliésteres, pueden propagar la inflamabilidad mediante gomas líquidas de sustancia inflamada al alcanzar zonas no sometidas a la combustión. Otras, por pirólisis, pueden desprender gases nocivos —fósgeno en el caso de los derivados clorados; gases fluorados en el caso de polímeros fluorados—. Finalmente, la propagación de la combustión depende también de la temperatura de los gases de combustión que transportan el calor necesario para llevar las partes vecinas a su temperatura de inflamación. Los procedimientos aplicados para hacer las fibras ininflamables e inaptas para propagar la combustión están basados en los siguientes principios:

— añadir sustancias minerales (fosfatos amónicos; borato sódico; sales de titanio...) y orgánicas (derivados) poco inflamables que disminuyen la temperatura de la llama y entorpecen la hidrólisis de la materia;

— introducir en la estructura átomos no comburentes;

— pontear la estructura macromolecular para evitar una hidrólisis y elevar la temperatura de fusión.

Describiremos fundamentalmente los procedimientos que implican una modificación real de la estructura química.

La mayor parte de los reactivos empleados tienden a introducir fósforo en la estructura, principalmente en la estructura de la celulosa.

1.º) Fosfatación.

La reacción directa del ácido fosfórico es limitada y la materia textil puede degradarse por hidrólisis ácida. La reacción puede ser catalizada transformando parcialmente la celulosa en oxixelulosa por acción de los óxidos del nitrógeno, eventualmente disueltos en el baño de ácido fosfórico.

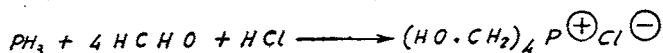
En lugar del ácido fosfórico, se pueden emplear el fosfato mono o diamónico, eventualmente combinado con una resina de apresto (procedimientos Pyroset, Banflam) tal como el producto resultante de la condensación del formaldehído y la dicianamida.

2.º) Fijación del fosfato por polimerización:

El tratamiento del artículo con soluciones o dispersiones de bromoformo y de trialfosfato (B. A. P.) da muy buenos resultados. Si bien el artículo adquiere una coloración amarilla, las propiedades mecánicas se alteran un poco.

3.º) Procedimiento THPC

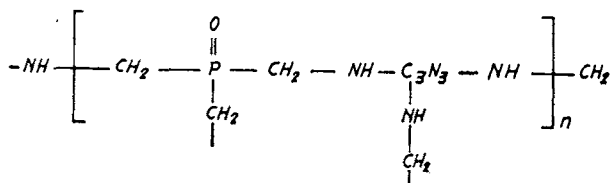
El cloruro de tetrakis(hidroximetil)fosfonio (THPC) se obtiene por reacción del hidruro de fósforo, formaldehído y ácido clorhídrico:



Es un producto higroscópico, cuyas soluciones reaccionan en medio fuertemente ácido.

A menudo se prefiere combinar el reactivo con otros agentes. Por ejemplo, según REEVES y GUTHRIE, se fularda el tejido en un baño de THPC y de trimetilolmelamina, se exprime, se seca y se polimeriza a 150°C. durante 2-3 minutos. (Para neutralizar el ácido clorhídrico desprendido, se añaden al baño tetranolamina y urea).

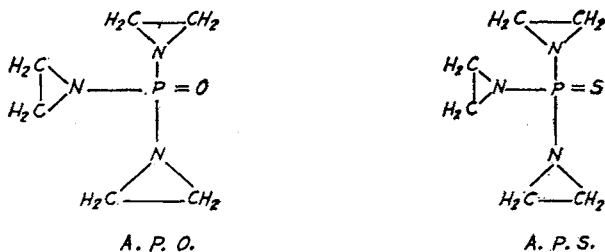
De este modo se forman puentes del tipo:



Los tejidos así tratados no sólo son ignífugos, sino que también son parcialmente inarrugables y resistentes a las bacterias. El tratamiento es permanente y capaz de resistir 200 lavados.

4.º) Procedimiento (A. P. O.)

El óxido de trisaciridimilfosfonio (A. P. O.) y el sulfuro correspondiente (A. P. S.) dan lugar a puentes ignífugantes



A menudo se combinan con el tratamiento THPC. Los tratamientos anteriormente indicados pueden aplicarse también en el caso de las fibras sintéticas. Sin embargo, cuando sólo se desea que el tejido tenga resistencia a una temperatura moderada, se pueden aplicar otros procedimientos.

Uno de ellos consisten en polimerizar "in situ" una mezcla de 60 partes de formaldehído y de 76 partes de tiourea en presencia de un catalizador tal como el sulfocianuro amónico. Este procedimiento ya lo hemos citado anteriormente.

Otro procedimiento que da buenos resultados, al menos en su fase de laboratorio, consiste en impregnar el tejido en un jigger con un baño de un condensado o prepolímero de formaldehído y de ácido tánico (con adición eventual de pirogalol). Después de un tratamiento térmico, el tejido presenta excelentes cualidades de resistencia térmica. Por ejemplo, puede soportar una permanencia en la estufa de 5 horas a 216°C. sin manifestar pérdida de resistencia al estallido. Por otra parte, el tratamiento resiste lavados bastante severos (30 mm. a 85°C.), pero es preferible utilizar agentes de lavado no iónicos. Su único inconveniente estriba en que el tejido se oscurece, lo que queda compensado por su mayor duración.

4.5.3. — Protección contra los efectos térmicos moderados

El ejemplo precedente nos conduce a considerar los tratamientos que, sin aportar una verdadera ignifugación, confieren una mejor resistencia de los tejidos a los tratamientos térmicos relativamente enérgicos, como, por ejemplo, un planchado a temperatura elevada.

La mayor parte de los tratamientos se refieren a la celulosa, habiendo alcanzado muchos de ellos la escala industrial.

1.º) Acetilación parcial

Este tratamiento consiste en llevar a cabo una reacción de acetilación limitando su extensión a la sustitución de un número limitado de funciones alcohol, en general las situadas en la superficie de las fibras.

El tejido se trata con ácido acético, y la reacción resulta catalizada por el anhídrido acético y por el ácido perclórico.

El tratamiento se aplica a los tejidos de algodón, lino y ha sido también ensayado con el yute. Los artículos resultantes de este tratamiento soportan mejor los cambios de temperaturas debidos al calor seco, así como los debidos a tratamientos húmedos que intervienen en las máquinas de papelería o en las planchadoras (telas para planchar; fieltros de papelería).

Como ya hemos visto, se consigue también una protección anti-bacteriana.

En el campo de las fibras artificiales, se ha pensado en aplicar el tratamiento de acetilación parcial a fibras de celulosa regenerada, de las que se conserva su forma fibrosa (CORVAL-TOPEC).

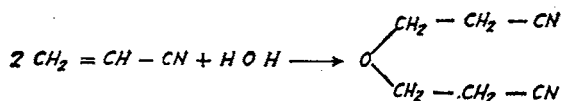
2.º) Cianoetilación y acrilamidación:

Primeramente, el algodón (o el lino) se sumerge en una solución diluida de sosa, después se exprime y se seca parcialmente. A continuación se trata con acrilonitrilo líquido a 55/60°C. Después de la reacción, se lava con una solución de ácido acético y a continuación con agua.

En la reacción con la celulosa se presenta una reacción parcial.



Nota: Si la cantidad de agua es demasiado elevada, puede producirse una reacción secundaria:



con la consiguiente pérdida de reactivo.

El acrilonitrilo puede ser reemplazado por la amida del ácido acrílico:
 $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CONH}_2$

4.5.4. — Resistencia a las temperaturas muy elevadas. Síntesis de nuevas fibras.

En todos los países se han efectuado trabajos de carácter bastante secreto en relación con la astronáutica (*) o la protección militar contra los efectos de las bombas atómicas, para encontrar nuevas materias *textiles* capaces de resistir temperaturas elevadas.

Generalmente, las fibras de elevado punto de fusión y alta estabilidad térmica son fabricadas a partir de polímeros apropiados, es decir, polímeros que contienen en su fórmula ciclos o heterociclos aromáticos (policarbonatos, poliparaxilenos, poliparaxilenos, poliamidas, polihidracidas, etc...) con la presencia eventual de abonos de metales pesados (estaño, antimonio, etc...) Véase C. Z. CARROLL-PORCZYNSKY, "Advanced materials; Refractory Fibres, Fibrous Metals, Composites" - Astex Publishing C.º Ltd., Guilford, 1962).

No obstante, se conocen también diferentes procedimientos para hacer refractario al calor un material inicialmente combustible o térmicamente inestable. En algún caso concreto se trata de transformar la estructura química de la fibra para hacer aparente nuevas propiedades.

Es curioso constatar que la invención de las fibras artificiales se hizo casi inevitable gracias a la investigación o búsqueda de tal materia. Desde 1879, cuando EDISON inventó la lámpara eléctrica, necesitaba filamentos de carbono y los fabricaba impregnando hilos de algodón (o mechas de papel) con negro de humo y pirolizándolos bajo vacío. Hemos de tener en cuenta que estos primeros filamentos eran irregulares y el progreso en este campo debió ser el resultado de la obtención de filamentos regulares y continuos de celulosa regenerada. Parece ser que ésta fue la idea principal de los trabajos de CROSS y BEVAN, de los que fue resultado el rayón viscosa.

Hoy, las cosas han vuelto precisamente a su punto de partida original, pues el "policarbono", que es la principal materia que resiste altas temperaturas, conservando también propiedades lo suficientemente buenas para que todavía pueda ser considerada como materia textil, se obtiene según el mismo principio por el que EDISON obtuvo sus primeros filamentos de carbono.

Las propiedades textiles residuales de tal materia dependen en gran medida de la materia fibrosa de que se ha partido (en general la celulosa regenerada), del tipo de tratamiento y de las condiciones de la pirólisis.

No todas las fibras pueden ser utilizadas. Algunas materias, calentadas bajo vacío, sufren primeramente una nociva, escisión de las cadenas, que conduce a productos volátiles y a una pérdida sensible de la resistencia. Este es el caso, por ejemplo, de los cuerpos ricos en grupos metileno, $-\text{CH}_2-$, como el polietileno, el poliestireno, las poliamidas y el polimetil-metacrilato.

Por el contrario, otras materias sufren otro tipo de descomposición, según el cual las roturas se producen en el interior de los motivos poliméricos, sin que exista ninguna escisión de la cadena principal, con recombinación inmediata por puentes intercadenas. Este es el caso de la celulosa, de los cloruros de polivinilo y de polivinilideno.

El "rendimiento en carbono" aumenta cuando la sustancia ha sido precisamente ponteadada con una agente anti-lana.

Con la celulosa, la pirólisis conduce a compuestos cíclicos del carbono instaurados, o a hidrocarburos polinucleares, precursores de una estructura final de poligrafito.

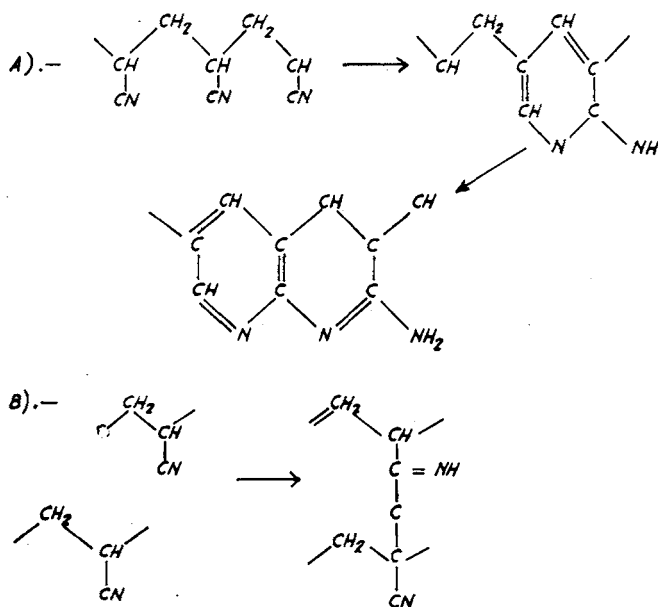
(*) Por ejemplo, las materias fibrosas constituyentes de los sistemas de paracaídas, han de soportar altas temperaturas, al volver las cápsulas a la atmósfera terrestre.

La temperatura del tratamiento tiene una influencia importante en el resultado obtenido, mientras que el tiempo sólo influye en la velocidad con que se obtiene el resultado apetecido.

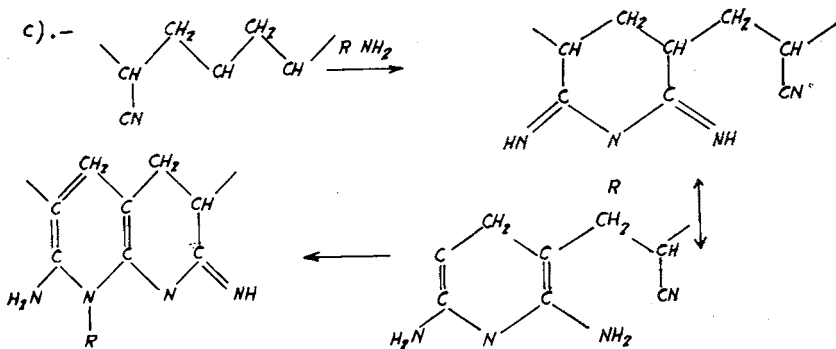
Otro ejemplo de realización de fibras térmicamente resistentes es el resultado de la pirólisis del poliacrilonitrilo, que conduce a productos conocidos con el nombre de "Black Orlon". Actualmente se sabe que la síntesis del poliacrilonitrilo, conduce a una mezcla de dos formas macromoleculares, una en la que todas las funciones nitrílicas están todas situadas en el mismo lado con relación al plano en zig-zag de los carbonos de la cadena principal —la forma sindiotáctica— y la otra, al contrario con las funciones alternadamente repartidas a una y otra parte del mismo plano —la forma isotáctica.

Mientras la forma isotáctica conduciría por pirólisis a estructuras policarbonos desordenadas, la forma sindiotáctica llevaría a una estructura semejante al poligrafito.

Se han propuesto dos mecanismos para interpretar la pirólisis, pudiendo intervenir simultáneamente tanto el uno como el otro en las fibras comerciales:



Un método preconizado para acelerar la formación del "Black Orlon" mediante el calor consiste en la edición de aminas o de amoníaco al polímero:



El poliacrilonitrilo "negro" es notablemente estable al calor. Resiste a la llama de un mechero Bunsen, sin quemar, o casi sin quemar, poniéndose incandescente. La pérdida de resistencia mecánica sólo es del orden del 30 % (R. C. HOUTZ, Tex. Res. J. 20, 786 (1950).

5. — APENDICE. - INJERTACION DE LAS SUSTANCIAS MACROMOLECULARES.

5.1. — Consideraciones teóricas.

A lo largo de toda esta exposición, hemos evocado constantemente los procedimientos que conducen a transformar la estructura de los polímeros mediante injertación. De esta forma pueden ser transformadas muchas propiedades pero lo que citaremos para terminar se referirá más bien a la manera de realizar la injertación que a las modificaciones de las propiedades.

La injertación se distingue de una simple reacción de sustitución por su mismo mecanismo, y un ejemplo hará comprender mejor esta diferencia.

Consideremos primeramente la cianoetilación de la celulosa. Se trata aquí de una reacción de adición por transferencia de un átomo de hidrógeno de la función alcohol al carbono vinílico. La reacción está regulada por los catalizadores clásicos, y el resultado es la fijación de una molécula de acrilanitrilo en derivación de la cadena principal.

Es posible alcanzar un resultado semejante utilizando otras funciones respectivas como la función epóxido: $\begin{array}{c} \text{---CH---CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \end{array}$ o la función etileníminas $\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{---N---} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2 \end{array}$

Por otra parte, es posible crear una ramificación sobre la cadena principal del polímero mediante una clásica reacción química de condensación, como la acetilación. En este caso intervienen dos moléculas (agua, alcohol) por doble descomposición.

En cambio, la reacción de injertación, si bien conduce a veces al mismo resultado, tiene lugar en dos etapas, siendo la primera la *iniciación* de los centros reaccionales en el polímero, por diversos procedimientos tales como el bombardeo por radiaciones energéticas (rayos de la bomba de cobalto; rayos ultravioleta; etc...) o la acción de los peróxidos. Los puntos de las moléculas así alcanzados pueden pasar a ser verdaderos *radicales libres*, cargados de energía potencial.

A continuación, esta energía puede ser liberada de dos maneras que corresponden a dos tipos de reacciones de injertación:

1.º) Injertación simple: los radicales simples se saturan con moléculas insaturadas. El resultado es similar al de las reacciones clásicas de adición o de doble descomposición.

2.º) Injertación polimerizante: la zona reaccional transfiere su energía de molécula a molécula por un proceso de reacción en cadena, provocando la polimerización del monómero, añadido en injertos más o menos largos.

Este segundo tipo es el que se investiga, si bien, en el primer tipo, la injertación simple puede presentarse entre las moléculas iniciadas por sí mismas, dando como resultado una reticulación del polímero por puentes.

La iniciación del polímero puede ser realizada por diferentes sistemas.

1.º) Irradiación:

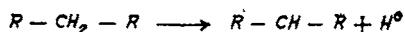
Hay varias fuentes de energía radiante. La más conocida es la radiación de la bomba de cobalto (60_{Co}). También se utiliza la radiación del cesio (137_{Cs}).

La utilización es muy simple, ya que basta exponer la muestra a irradiar a unas barritas del metal radioactivo. La intensidad de las radiaciones se regula por la forma geométrica de las barritas y la distancia existente entre éstas y la muestra.

También se pueden producir radiaciones ionizantes con ayuda de máquinas del tipo acelerador de VAN DE GRAAF o acelerador lineal. El flujo de electrones acelerados es análogo a la radiación de los radioelementos.

Finalmente, se pueden utilizar los rayos X, producidos en tubos en los que los electrones son proyectados sobre placas metálicas.

La iniciación por irradiación corresponde a la separación de un átomo de hidrógeno y a la formación de un radical libre. Por ejemplo, con los altos polímeros de hidrocarburos, la reacción de iniciación se escribe del siguiente modo:



El átomo de hidrógeno, separado puede reaccionar con otra molécula separando un segundo átomo de hidrógeno para saturarse y formar una molécula de hidrógeno:

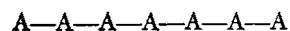


En una sustancia macromolecular, los radicales libres formados se fijan en la estructura y pueden permanecer en estado libre durante un tiempo bastante largo. En este caso se puede iniciar el polímero y a continuación se pone en contacto con otra sustancia reaccionante.

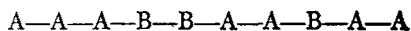
Por ejemplo, si la sustancia reaccionante es una molécula susceptible de polimerizarse, el contacto del monómero y de las radicales libres pueden provocar una fijación del monómero y la reacción se propaga de monómero a monómero hasta un grado de polimerización bastante elevado.

En este caso, se tiene una injertación propiamente dicha.

Pero el radical libre puede aparecer al final de la cadena y el mismo tipo de reacción puede conducir a la formación de un copolímero en bloque:



Copolímero injertado



Copolímero en bloque

2.º) Acción de las radiaciones actínicas.

Los rayos ultravioletas no están cargados de energía suficiente para separar átomos y dar lugar a la formación de radicales libres.

Por el contrario, su energía química correspondiente puede activar el oxígeno presente, el cual formara peróxidos.

Estos peróxidos, inestables, pueden descomponerse engendrando radicales libres, los cuales a su vez podrán reaccionar.

3.º) Iniciación química:

Ciertas sales de los metales catalizadores, algunos peróxidos orgánicos pueden ejercer un papel análogo al de las radiaciones ultravioletas.

El sulfato de cesio en solución de NS_3H , NO_3 , NH_4 ; el persulfato; el ácido periódico y sus sales, el pirofosfato de manganeso trivalente; también los peróxidos orgánicos han permitido la iniciación de los polímeros.

El rendimiento químico de estas reacciones es mucho más débil que con las fuentes radioquímicas.

4.º) Iniciación mecánica.

Se han intentado algunos ensayos provocando roturas de cadenas por vía mecánica, por ejemplo, enfriando las fibras a temperatura muy baja y elevándola rápidamente.

Las reacciones de iniciación vienen acompañadas siempre de reacciones secundarias más o menos nocivas según la naturaleza del polímero. La más importante de estas reacciones es la despolimerización, que disminuye las propiedades mecánicas de las muestras. Por otra parte, los radicales libres formados pueden saturarse mutuamente y, en este caso, la reticulación puede incluso modificar las cualidades mecánicas, por ejemplo hacer variar el módulo de elasticidad.

5.2. — Algunas aplicaciones prácticas

Ya hemos citado algunas de ellas. Se han conseguido resultados interesantes por injertación del acrilonitrilo en las *fibras celulósicas*. Se han aplicado varios sistemas. Se puede irradiar la celulosa y ponerla en contacto con los vapores de acrilonitrilo. El resultado depende de la accesibilidad del monómero a la estructura de la fibra. También se puede, preferentemente, poner en contacto la celulosa y el monómero e irradiar el conjunto. En este caso, las reacciones secundarias son menos importantes.

También se ha preconizado un prehinchamiento de las fibras antes realizar la injertación. De esta forma se modifica también el rendimiento de la injertación.

En lo que se refiere a la mejora de las propiedades textiles, los mejores resultados se han conseguido con las fibras de diacetato.

También se han aplicado otros monómeros, como el metilmetacrilato de metilo, alcohol vinílico, estirenos, acetato de vinilo, divinilsulfona. Las cualidades deseadas son la hidrofugación, la resistencia al calor moderado, la resistencia a las bacterias.

Finalmente, siempre dentro del marco de la celulosa, han aparecido nuevas fibras artificiales, principalmente en Japón y en Rusia.

Citemos, con todas las reservas en cuanto a su valor o importancia comercial:

ADLON (viscosa y alcohol polivinílico, después acetilación).

APIILON (viscosa + 40 % acrilonitrilo): reprise de humedad.

AVILON más débil que la viscosa; cualidades hidrófugas; afinidad tintorial aumentada).

GRAFLON (viscosa 50 % + acrilonitrilo 50 %).

JUBILON (viscosa injertada, de aspecto lanoso).

LONBELL, etc.

En el marco de las fibras sintéticas, se han efectuado muchos ensayos ya sea para conferir nuevas propiedades tintoriales, ya sea para conseguir un aumento de hidrofiliidad (principalmente superficial, para combatir la autoelectrización).

La injertación del estireno en las fibras de alcohol vinílico, hinchadas en agua a temperatura ordinaria da lugar a fibras con una buena resistencia al agua caliente y con interesantes propiedades de recuperación elástica retardada (para débiles alargamientos).

La injertación polimerizante del estireno sobre la poliamida 6 irradiada, modifica las propiedades mecánicas de la fibra (aumento de la carga de rotura). También se han mejorado las propiedades tintoriales de las fibras de poliamida 6-6 impregnándolas con un monómero etilénico (por ejemplo el estireno-parasulfonato sódico) e irradiándolas con rayos X.

El nylon 6-6 ha sido injertado con ácido maleico o con ácido acrílico. El ácido maleico da injertos cortos, mientras que el ácido acrílico da cadenas injertadas más largas. Irradiaciones débiles (1 Mrad) son suficientes para fijar alrededor del 10 % del monómero acrílico; el ácido maleico exige energías más elevadas (20-40 Mrad). Por otra parte, la salificación con carbonato sódico o acetato cálcico de las funciones ácidas injertadas es sencilla. Los derivados soldados confieren una alta hidrofiliad a las fibras y las hacen "anti-estáticas". Los derivados cálcicos hacen las fibras infusibles. Finalmente, resultan mejoradas las propiedades mecánicas de las fibras, principalmente las propiedades de recuperación elástica en húmedo. En el campo de los poliésteres, es preciso citar la mejora de la resistencia a la auto-electrización de los tejidos de Terylene por copolimerización con la 4-vinilpiridina ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{N}$) iniciada por los rayos X. Los radicales piridinio así introducidos son a continuación "cuaternarizados" con sulfato de dimetilo.

Una simple irradiación del politereftalato de etilenglicol con cantidades del orden de 10^9 rads basta para que, por sí sola, transforme las propiedades mecánicas de las fibras, disminuyendo notablemente la temperatura de transición de primer orden del polímero.

Estos ejemplos aislados indican cuán amplio es el campo de experimentación en el campo particular de la injertación.

6. — CONCLUSIONES

Al final de esta larga exposición de los progresos realizados en la mejora de las fibras textiles mediante procedimientos aplicados a las fibras en el estado en que nos las presenta la naturaleza o han sido fabricadas por el hombre, se desprende una impresión general.

Desde los primeros tiempos de la humanidad, se ha efectuado una selección natural. Después, al aumentar sus necesidades, el hombre se ha visto obligado a inventar nuevas materias, cuya proliferación le plantea otros problemas de calidad y selección.

Con la ayuda de la competencia, se hace necesario unificar de alguna manera las propiedades específicas de cada tipo de fibras, transponiéndolas de categoría a categoría con la interpretación de la química de síntesis.

La bien conocida clasificación de las materias textiles que existía hace 20 años es actualmente incompleta si no caduca.